

### **Photovoltaikelement**

Die Erfindung betrifft ein Photovoltaikelement, das insbesondere in Photovoltaikanlagen als Solarzelle verwendet wird, um durch Absorption von Sonnenlicht elektrische Energie zu gewinnen.

Hocheffiziente Solarzellen sind beispielsweise aus "Sonnenenergie: Photovoltaik" (B. G. Teubner Verlag, Stuttgart, 1997) oder "Forschungsverbund Sonnenenergie Themen 95/96, Photovoltaik 3" bekannt. Hocheffiziente Photovoltaikelemente weisen danach einen als "p-Basis" bezeichneten Photonenabsorber auf, der aus monokristallinem, zonengezogenem und p-dotiertem (ca.  $1,5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ) Silizium besteht. Der Photonenabsorber weist dabei eine elektrische Leitfähigkeit von ca.  $1 \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$  und eine Dicke von ca. 200  $\mu\text{m}$  auf. Die dem Licht zugewandte Vorderseite des Photonenabsorbers ist texturiert mit Hilfe vertieft liegender, invertierter Pyramiden. Zur Erzeugung einer hohen Antireflexwirkung ist die Vorderseite des Photonenabsorbers mit einer thermisch aufgewachsenen Siliziumdioxidschicht bedeckt, deren Dicke ca. 100 nm beträgt. Unter der  $\text{SiO}_2$ -Schicht ist eine Emitterschicht angeordnet mit einer Dotierung von ca.  $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  -  $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  und einer Eindringtiefe von ca. 0,5 - 3  $\mu\text{m}$ . Zum Zu- bzw. Ableiten der durch die Absorption von Lichtquanten in Bewegung versetzten Elektronen sind auf der Vorderseite des Photonenabsorbers Metallleiter angeordnet, die aus Ti-Pd-Ag bestehen. Auf der Unterseite des Photonenabsorbers wird als Rückkontakt Aluminium aufgedampft.

Das aufgedampfte Aluminium ist über Punktkontakte mit einem Back Surface Field (BSF) verbunden. Mit Hilfe der Punktkontakte und dem BSF wird der elektrische Kontakt zwischen dem aufgedampften Aluminium und dem Photonenabsorber gewährleistet.

Mit Hilfe derartiger Photovoltaikelemente kann ein Spitzenwirkungsgrad von 21,3% erreicht werden. Dieser Wirkungsgrad ist allerdings noch zu niedrig. Insbesondere um einen großflächigen Umstieg von fossilen Energieträgern auf erneuerbare Energieträger, insbesondere mit Hilfe von Photovoltaik, zu erreichen, reichen die bisherigen erreichbaren Wirkungsgrade von Photovoltaikelementen nicht aus.

Aus DE 198 37 365 A1 ist es bekannt, in dem optischen Bereich einer Solarzelle, der dem Sonnenlicht ausgesetzt ist, Cluster aus Gold, Silber oder Galliumarsenid vorzusehen. Die Cluster weisen eine Größe von 3 000 bis 10 000 Atomen auf und sind kleiner als 10 µm. Die Cluster bewirken durch einen Resonanzeffekt zusätzliche Ladungsträgerpaare, die einen zusätzlichen elektrischen Strom bereitstellen, wodurch der Wirkungsgrad verbessert ist. Nachteilig bei einer derartigen Solarzelle ist, dass die für die Cluster verwendeten Materialien sehr teuer sind. Ferner ist es kompliziert und aufwändig, die im Verhältnis zur Solarzelle sehr kleinen Cluster in das für den Photonenabsorber verwendete Material einzubringen.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein leicht herstellbares Photovoltaikelement bzw. eine Photovoltaikeinrichtung zu schaffen, bei dem bzw. bei der der Wirkungsgrad verbessert ist.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Photovoltaikelement mit den Merkmalen des Anspruchs 1 sowie durch eine Photovoltaikeinrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 16.

Überraschend wurde festgestellt, dass bei einem erfindungsgemäßen Photovoltaikelement, bei dem ein elektrisch leitfähiges Wirkelement zumindest teilweise in einen Photonenabsorber eingelassen ist, ein höherer Wirkungsgrad erzielt werden kann. Der Photonenabsorber, bei dem es sich beispielsweise um die Absorberschicht einer konventionellen Solarzelle handelt, ist insbesondere p-dotiert und dadurch als "p-Basis" ausgebildet. Das Wirkelement ist dabei von dem Photonenabsorber über eine Phasengrenze getrennt, d.h. bei dem Wirkelement handelt es sich nicht um eine Dotierung des Photonenabsorbers bzw. Legierung des Photonenabsorbers, sondern um ein Element, das im Vergleich zum Photonenabsorber unterschiedliche physikalische Eigenschaften aufweist. Das Wirkelement weist ferner eine höhere Elektronenbeweglichkeit als der Photonenabsorber auf. Insbesondere ist die elektrische Leitfähigkeit des Wirkelements höher als die des Photonenabsorbers. Vorzugsweise beträgt die elektrische Leitfähigkeit des Wirkelements mehr als  $1,4 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ , besonders bevorzugt mehr als  $1,6 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ , insbesondere mehr als  $2,0 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$  und insbesondere sogar mehr als  $8,0 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ . Das Wirkelement ist erfindungsgemäß großflächig ausgeführt und weist eine im Vergleich zum Volumen große Oberfläche auf. Hierzu ist das Wirkelement insbesondere länglich, beispielsweise als langgestreckter Zylinder oder Quader, ausgeführt. Das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen ist insbesondere größer als 2,5, vorzugsweise größer als 4,0 und besonders bevorzugt größer als 6,5.

Das Volumenverhältnis des Photonenabsorbers zu den Leitern liegt vorzugsweise im Bereich von 2 – 7. Besonders bevorzugt ist hierbei ein Volumenverhältnis von etwa 4.

Bei dem Wirkelement kann es sich beispielsweise um einen Leiter handeln, so dass im Vergleich zu herkömmlichen Photovoltaikelementen der Leiter nicht außerhalb, sondern innerhalb des Photonenabsorbers angeordnet ist. Überraschend wurde festgestellt, dass das Wirkelement in bevorzugter Ausführungsform elektrisch isoliert ist, d.h. das Wirkelement ist weder mit einem Plus-Pol, noch mit einem Minus-Pol verbunden, sondern zumindest teilweise

innerhalb des Photonenabsorbers angeordnet. Bei dem Wirkelement kann es sich somit um einen Leiter handeln, der weder mit einem Plus-Pol, noch mit einem Minus-Pol verbunden ist, sondern ohne Kontakt zu einer Spannungsquelle in dem Photonenabsorber eingebettet ist.

Anscheinend weist der eingelassene Teil des Wirkelements eine gewisse Verstärkungseigenschaft auf. Die durch Lichtquanten in Bewegung versetzten Elektronen können anscheinend ihren elektrischen Impuls auf die Elektronen innerhalb des Wirkelements leicht übertragen. Dieser elektrische Impuls wird solange innerhalb des Wirkelements an den Phasengrenzen zum elektrisch dichteren Medium mit einem höheren ohmschen Widerstand, nämlich insbesondere dem Photonenabsorber oder der Umgebung, reflektiert, bis genügend Energie in dem Wirkelement gespeichert ist, um einen energiereichen elektrischen Impuls aus dem Wirkelement heraus durch den Photonenabsorber hindurch zu einem elektrischen Leiter hin übertragen zu können. Die Leiter müssen nicht zwangsläufig ein Teil des erfindungsgemäßen Photovoltaikelements sein, sondern können auch beispielsweise eine äußere Anlagefläche einer das Photovoltaikelement aufnehmenden Photovoltaikeinrichtung sein. Es wird angenommen, dass der Effekt auf ein Resonanzphänomen beruht, das einen Verstärkereffekt zur Folge hat. Bei dem Wirkelement handelt es sich somit um ein Verstärkerelement bzw. einen elektrischen Resonanzkörper. Durch das Wirkelement ergibt sich somit eine Elektronenresonanz mit einer Wellencharakteristik, die eine Frequenz-Bandbreite von ca. 75 Hz – 85 Hz aufweist. In dem Wirkelement können insbesondere die Elektronen gespeichert werden und beispielsweise temperaturabhängig an den Photonenabsorber abgegeben werden, wodurch zusätzlich Elektronen/ Loch-Ereignisse ausgelöst werden, die zu einer zusätzlichen Verstärkung führen, wodurch der Wirkungsgrad verbessert wird.

Durch die Absorption von Photonen im Photonenabsorber werden Elektronen/ Loch-Paare erzeugt, die über ein elektrisches Feld als elektrischer Strom aus dem Photonenabsorber herausgeleitet werden können. Hierzu können

beispielsweise an gegenüberliegenden Seiten des Photonenabsorbers Kondensatorplatten vorgesehen sein, die mit einem Plus-Pol bzw. einem Minus-Pol verbunden sind. In bevorzugter Ausführungsform wird ein elektrisches Feld dadurch bereitgestellt, dass mindestens ein Leiter vorgesehen ist, der in den Photonenabsorber zumindest teilweise eingelassen ist. Dadurch werden außerhalb des Photonenabsorbers angeordnete Kondensatorplatten vermieden. Der Leiter kann entsprechend wie das Wirkelement in den Photonenabsorber eingelassen sein, wodurch unterschiedliche Herstellungsverfahren vermieden werden und die Herstellungskosten reduziert sind. Ferner kann der Leiter die gleiche Zusammensetzung wie das Wirkelement aufweisen, so dass die Bereitstellung unterschiedlicher Materialzusammensetzungen vermieden wird. Es ist somit möglich, zunächst einen großflächigen Photonenabsorber herzustellen, in den eine Vielzahl von Wirkelementen eingelassen sind. Anschließend kann der großflächige Photonenabsorber in mehrere kleine Photonenabsorber unterteilt werden. Zur Ausbildung des elektrischen Feldes können einzelne Wirkelemente als Leiter ausgeführt werden. Hierzu kann beispielsweise ein mit einem Plus-Pol oder Minus-Pol verbundenes Kabel an eines der Wirkelemente angelötet werden. Einzelne Wirkelemente werden vorzugsweise in Reihe geschaltet. Dadurch kann durch konstruktiv einfache Maßnahmen, die sich insbesondere zur Massenfertigung eignen, eine voll funktionsfähige Solarzelle hergestellt werden.

In bevorzugter Ausführungsform sind in dem Photonenabsorber mindestens zwei Leiter angeordnet, wobei der eine Leiter ein mit einem Plus-Pol verbundener Plus-Leiter und der andere Leiter ein mit einem Minus-Pol verbundener Minus-Leiter ist. In besonders bevorzugter Ausführungsform sind die Plus-Leiter derart angeordnet, dass sie an einer ersten Stirnseite des Photonenabsorbers enden bzw. überstehen und die Minus-Leiter in entsprechender Ausgestaltung an einer zweiten Stirnseite des Photonenabsorbers enden bzw. überstehen. Dadurch ist es möglich, besonders einfach an der ersten Stirnseite mehrere, insbesondere alle, Plus-Leiter über einen ersten Sammel-Leiter und an einer zweiten Stirnseite mehrere, insbesondere alle, Minus-Leiter über einen zweiten Sammel-Leiter miteinander zu verbinden.

Vorzugsweise ist das Photovoltaikelement mehrschichtig ausgestaltet. In dieser Ausführungsform weist das Photovoltaikelement mindestens zwei Photonenabsorber auf, die jeweils über eine Anlagefläche in Kontakt stehen. Die Ausrichtung der Photonenabsorber ist hierbei vorzugsweise antiparallel. In besonders bevorzugter Ausführungsform sind die Plus-Leiter und die Minus-Leiter derart angeordnet, dass die Plus-Leiter und die Minus-Leiter über die Anlagefläche voneinander abgegrenzt sind. Dadurch wird eine größere räumliche Trennung der Plus-Leiter und der Minus-Leiter erreicht. Ferner können beide Photonenabsorber, in die beispielsweise sowohl Wirkelemente als auch Leiter angeordnet sind, identisch ausgestaltet werden, wobei die Leiter des einen Photonenabsorbers mit dem Plus-Pol und die Leiter des anderen Photonenabsorbers mit dem Minus-Pol verbunden werden. Dadurch ist das erfindungsgemäße Photovoltaikelement insbesondere zur Massenfertigung geeignet. Vorzugsweise kann das Photovoltaikelement z.B. vier Schichten aufweisen, wobei beispielsweise die dritte und vierte Schicht zu der ersten und zweiten Schicht jeweils antiparallel ist. Hierdurch kann der Absorptionsgrad erhöht werden. Zur weiteren Erhöhung des Absorptionsgrades können auch mehr als vier Schichten vorgesehen sein.

Vorzugsweise besteht der Photonenabsorber im Wesentlichen aus Silizium, insbesondere aus monokristallinem Silizium, das ggf. dotiert ist, so dass sich eine "p-Basis" ergibt.

Das Wirkelement besteht vorzugsweise zu einem Großteil, insbesondere vollständig, aus einem Metall und ist ggf. dotiert bzw. legiert. Vorzugsweise werden auf Grund der hohen Rohstoffkosten die Metalle Pt, Ag und Au vermieden. Das Metall stammt insbesondere aus der 3. - 6. Hauptgruppe oder der 1. - 8. Nebengruppe gemäß dem Periodensystem der Elemente. Bei dem Metall handelt es sich vorzugsweise um ein Nebengruppenmetall, dessen Elektronenkonfiguration eine äußere d-Schale aufweist, die mit mindestens zehn Elektronen besetzt ist.

Die Erfindung betrifft ferner eine Photovoltaikeinrichtung mit einem Aufnahmeelement, das Ausnehmungen aufweist. In diesen Ausnehmungen sind Photovoltaikelemente angeordnet, wie sie vorstehend beschrieben sind. Die Photovoltaikeinrichtung weist einen ersten und einen zweiten Verbindungsleiter auf, die mit einem Plus-Pol bzw. einem Minus-Pol verbunden sind. Über den Verbindungsleiter wird die elektrische Verbindung mit den Photovoltaikelementen gewährleistet. Hierzu sind die Verbindungsleiter insbesondere mit dem Plus-Leiter bzw. Minus-Leiter und/ oder, sofern vorhanden, mit dem entsprechenden Sammel-Leiter verbunden. Dadurch ist es möglich, in kostensparender, modularer Bauweise mehrere Photovoltaikelemente, die ggf. selber ebenfalls modular zusammengesetzt sind, miteinander zu verbinden. Hierzu sind in einer Ausnehmung insbesondere mehrere Photovoltaikelemente angeordnet, wobei die Ausnehmung in Kontakt mit mindestens einem Photonenabsorber des Photovoltaikelements steht und insbesondere von den Leitern isoliert ist. Die Photovoltaikeinrichtung ist in bevorzugter Ausführungsform zumindest im Bereich der Ausnehmungen elektrisch leitfähig ausgestaltet und aus einem vorzugsweise aluminiumhaltigen Material, z. B. AlP, das ggf. dotiert ist, zusammengesetzt. Das Aufnahmeelement erfüllt im Wesentlichen eine Verstärkungsleistung, die folgendermaßen erklärbar ist: Alle Elektronen aus dem Photoabsorber mit einer Energie von mindestens 0,8 eV, die entweder aus der p-Basis photoinduziert entstanden sind, oder zusätzlich resonanzinduziert aus dem Wirkelement stammen, gelangen unter gegebenen geometrischen Bedingungen in das Aufnahmeelement und lösen dort elektrische Bewegungen aus, die einen Verstärkungseffekt hervorrufen, so dass die ausströmenden Elektronen in etwa 3-facher Menge in den Photoabsorber zurückgelangen. Dieser vom Aufnahmeelement in den Photoabsorber zurückfließende Elektronenanteil wird vermehrt durch photoinduzierte Elektronen solcher Restlichtmengen, die auf das Aufnahmeelement treffen. Hierzu sind insbesondere die Photovoltaikelemente auf Passung in der Ausnehmung des Aufnahmeelementes eingepasst, so dass sich vorzugsweise ein direkter Kontakt zwischen dem Aufnahmeelement und dem Photovoltaikelement ergibt.

Vorzugsweise werden mehrere erste Verbindungsleiter mit genau einem ersten Strom-Leiter und mehrere zweite Verbindungsleiter mit genau einem zweiten Strom-Leiter verbunden. Dadurch ist es möglich, die gesamte, mit Hilfe der erfindungsgemäßen Photovoltaikeinrichtung bereitgestellte Spannung über ein einziges Leiterpaar abzugreifen. Der zweite Strom-Leiter nimmt die Funktion des "Back Surface Field" wahr, wobei das "Back Surface Field" zu einer "Back Surface Line" reduziert ist. Dadurch ist es möglich, die so geschaffene "Back Surface Line" zur Vermeidung von elektrischen Kurzschlussströmen bzw. Reduzierung von störenden elektrischen Feldern räumlich zu trennen. Der Materialeinsatz zur Realisierung des Rückkontakts ist dadurch reduziert.

Im Gegensatz zu bekannten Systemen wird erfindungsgemäß das für die Ladungstrennung notwendige elektrische Feld räumlich weit verteilt und überspannt insbesondere folgende Bauelemente des Photovoltaikelements:

- der bandförmige/ drahtförmige Leiter entspricht funktionell dem  $n^+$ -Emittenten.
- die Minus-Platine ist in eine Silizium-Matrix eingebettet.
- die Silizium-Schichten sind als Paare mit jeweils antiparalleler Orientierung ausgebildet.
- Die Plus-Platine ist in eine Silizium-Matrix eingebettet.

In besonders bevorzugter Ausführungsform weist die Photovoltaikeinrichtung Verbindungsmittel auf, um mindestens zwei nebeneinander angeordnete Photovoltaikeinrichtungen mechanisch und elektrisch miteinander zu verbinden. Die mechanische bzw. die elektrische Verbindung kann dabei sowohl mit unterschiedlichen, als auch mit einem gemeinsamen Verbindungsmittel erreicht werden. Dadurch ist es möglich, mehrere Photovoltaikeinrichtungen modular miteinander zu verbinden und ggf. in Reihe zu schalten, um dadurch beispielsweise eine besonders große Photovoltaikanlage zusammenzusetzen.



Eine unabhängige Erfindung besteht in einem Verfahren zur Herstellung monokristallinem anisotropem Siliziums. Zunächst wird ein Quader aus monokristallinem Silizium, das dotiert ist, in Scheiben geschnitten, die der geplanten Schichtdicke eines Photonenabsorbers für ein Photovoltaikelement entsprechen. Diese Scheibe wird langsam, beispielsweise innerhalb von 90 Minuten, auf den Schmelzpunkt erhitzt und insbesondere ca. 30 Minuten lang auf diesem Temperaturniveau gehalten. Anschließend wird die Silizium-Scheibe über einen Zeitraum von beispielsweise acht Stunden auf ca. 300°C vorsichtig, insbesondere in Intervallen, abgekühlt. Ab ca. 300°C kann die Abkühlung ungesteuert erfolgen. Nach diesem Vorgang ergibt sich eine vorzugsweise kreisförmige Scheibe gleichmäßiger Schichtdicke aus monokristallinem anisotropem Silizium. Aus der Silizium-Scheibe werden vorzugsweise drei Photonenabsorber ausgeschnitten bzw. ausgesägt, die in einem definierten Winkel zueinander, vorzugsweise radiärsymmetrisch, angeordnet sind. Durch dieses Verfahren lassen sich Photonenabsorber erzeugen, die eine hohe Homogenität in der Orientierung der Kristallstruktur besitzen. Dadurch ist es insbesondere möglich, zwei Photonenabsorber antiparallel zueinander anzuordnen, wodurch die Absorptionseigenschaft für Lichtquanten erhöht ist. Die antiparallel zueinander angeordneten anisotropen Photonenabsorber weisen also eine Orientierung der Kristallstruktur auf, die gegenläufig ( $\alpha = 180^\circ$ ) angeordnet ist.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand bevorzugter Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die anliegenden Zeichnungen näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische perspektivische Ansicht eines Photovoltaikelements,

Fig. 2 eine schematische Schnittansicht des Photovoltaikelements entlang der Linie II-II aus Fig. 1,

- Fig. 3 eine schematische Draufsicht einer zweiten Ausführungsform des Photovoltaikelements,
- Fig. 4 eine schematische Schnittansicht des Photovoltaikelements entlang der Linie IV-IV aus Fig. 3,
- Fig. 5 eine schematische geschnittene Seitenansicht eines mehrschichtigen Photovoltaikelements,
- Fig. 6 eine schematische Seitenansicht des Photovoltaikelements in Richtung des Pfeils VI aus Fig. 5,
- Fig. 7 eine schematische Seitenansicht des Photovoltaikelements in Richtung des Pfeils VII aus Fig. 5,
- Fig. 8 eine schematische Draufsicht einer Photovoltaikeinrichtung,
- Fig. 9 eine schematische Schnittansicht der Photovoltaikeinrichtung entlang der Linie IX-IX aus Fig. 8, und
- Fig. 10 eine schematische Draufsicht einer Silizium-Scheibe zur Herstellung von Photonenabsorbern.

In einem in Fig. 1 dargestellten Photonenabsorber 10 ist ein elektrisch leitfähiges Wirkelement 12 elektrisch isoliert eingelassen. Weitere Wirkelemente sind als Plus-Leiter 14 und als Minus-Leiter 16 ausgestaltet. Zum einfachen Verlöten steht ein Teil des Plus-Leiters 14 über eine erste Stirnseite 18 des Photonenabsorbers 10 über. Entsprechend steht ein Teil des Minus-Leiters 16 über eine zweite Stirnseite 20 des Photonenabsorbers 10 über.

Der Photonenabsorber 10 kann elektromagnetische Strahlung insbesondere im Bereich von 95 nm bis 1220 nm absorbieren. Die Absorptionsmaxima des Photonenabsorbers 10 liegen insbesondere bei  $130 \text{ nm} \pm 15 \text{ nm}$  und  $720 \text{ nm} \pm 15 \text{ nm}$ . Dadurch lässt sich ein Absorptionsgrad für elektromagnetische Strahlung von ca. 42 % erreichen.

Das Wirkelement 12, der Plus-Leiter 14 und der Minus-Leiter 16 sind vollständig in den Photonenabsorber 10 eingelassen. Ihre vom Photonenabsorber 10 weg gerichteten Oberflächen fluchten mit der Oberfläche des Photonenabsorbers 10 (Fig. 2).

In einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Photovoltaikelements sind in den Photonenabsorber 10 mehrere Wirkelemente 12, Plus-Leiter 14 und Minus-Leiter 16 angeordnet (Fig. 3). Es gibt einen Abstand der Wirkelemente 12, Plus-Leiter 14 und Minus-Leiter 16 zueinander, bei dem der Wirkungsgrad besonders hoch ist. Dieser Abstand lässt sich ggf. in Abhängigkeit vom verwendeten Material experimentell ermitteln. Zur elektrischen Isolierung der Wirkelemente 12 sind zwischen den Stirnseiten 18, 20 des Photonenabsorbers 10 und den Stirnflächen der Wirkelemente 12 Silikonkissen 22 angeordnet. Die Wirkelemente 12, die Plus-Leiter 14 sowie die Minus-Leiter 16 sind länglich ausgeführt und im Wesentlichen parallel zueinander angeordnet. Die Wirkelemente 12, die Plus-Leiter 14 sowie die Minus-Leiter 16 sind hierzu im Wesentlichen als nebeneinander angeordnete Streifen ausgeführt, die im Wesentlichen eine quaderförmige Geometrie aufweisen.

Die überstehenden Enden der Plus-Leiter 14 und der Minus-Leiter 16 sind mit einem ersten Sammel-Leiter 24 bzw. einem zweiten Sammel-Leiter 26, insbesondere durch Löten, verbunden (Fig. 4). Die Sammel-Leiter 24, 26 sind auf der ersten Stirnseite 18 bzw. auf der zweiten Stirnseite 20 angeordnet.

Das erfindungsgemäße Photovoltaikelement kann ein-, zwei- oder mehrschichtig ausgestaltet sein (Fig. 5). Hierzu weist der Photonenabsorber 10 beispielsweise

vier Schichten 28, 30, 32, 34 auf, die jeweils über Anlageflächen 36 in Kontakt stehen. Zur Erzeugung einer hohen Antireflexwirkung und um die Licht- bzw. Strahlungsabsorption zu erhöhen, ist der Photonenabsorber 10 vorzugsweise sowohl auf der Oberseite als auch auf der Unterseite im Sinne einer "Lichtfalle" mit einer texturierten Polycarbonatschicht 38 versehen. Die Polycarbonatschicht 38 ist außen wiederum beidseitig mit einer Glasschicht 40 versehen, um das erfindungsgemäße Photovoltaikelement vor Beschädigungen zu schützen. Um eine möglichst hohe Lichtabsorption zu erreichen, weisen die erste Schicht 28 und die dritte Schicht 32 zueinander eine antiparallele anisotrope Kristallstruktur auf. Entsprechend weist die zweite Schicht 30 und die vierte Schicht 34 zueinander ebenfalls eine antiparallele anisotrope Kristallstruktur auf. Das mehrschichtige Photovoltaikelement 44 wird von einem Aufnahmeelement 54 gehalten. Der Öffnungs- bzw. Einfallswinkel für elektromagnetische Strahlung, die von dem Photonenabsorber 10 bzw. den Schichten 28, 30, 32, 34 absorbiert werden kann, beträgt dadurch über 130 ° bis ca. 153 °.

Vorzugsweise erfolgt ein Füllen mit einem Sauerstoff-Mangelgas, insbesondere mit Stickstoff. Hierdurch kann die Ausbeute um ca. 10% erhöht werden. Ferner wird ggf. zusätzlich zur Reduzierung des Erwärmungseffekts vorzugsweise ein Unterdruck erzeugt, der insbesondere 0,3 – 0,5 bar beträgt.

In der mehrschichtigen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Photovoltaikelements erstrecken sich die Sammel-Leiter 24, 26 vorzugsweise ebenfalls über mehrere Schichten (Fig. 6, Fig. 7). Hierzu sind die Sammel-Leiter 24, 26 beispielsweise längs angeordnet. Da die Plus-Leiter 14 und die Minus-Leiter 16 an gegenüberliegenden Stirnseiten 18 bzw. 20 überstehen, ist die Gefahr eines Kurzschlusses vermieden. Es ist aber dennoch bevorzugt, die Sammel-Leiter 24, 26 nicht über die Enden der Leiter mit gegensätzlicher Ladung zu verlegen, um evtl. auftretende Störungen durch starke elektrische Felder in diesem Bereich bzw. Kurzschlüsse zu vermeiden.

Eine erfindungsgemäße Photovoltaikeinrichtung 42 weist mehrere erfindungsgemäße Photovoltaikelemente 44 auf (Fig. 8). Zellenintern sind die ersten Sammel-Leiter 26 der Photovoltaikelemente 44 jeweils mit einem Verbindungsleiter 46 verbunden. Entsprechend sind Sammel-Leiter 27 mit einem Verbindungsleiter 48 verbunden. Letztere bilden den als "Back Surface Line" ausgebildeten Rückkontakt, während die Sammel-Leiter 26 den  $n^+$ -Emittenten herkömmlicher Photovoltaiksysteme funktionell entsprechen. Die Verbindungsleiter 46 und 48 der einzelnen Photovoltaikelemente werden weiterführend mit den Leitern 50, 52 übergreifend elektrisch bis zu den Endpolen verbunden. Ferner weist die Photovoltaikeinrichtung 42 nicht dargestellte Verbindungsmittel auf, um benachbarte Photovoltaikeinrichtungen 42 mechanisch zu verbinden. Ferner werden die Strom-Leiter 50, 52 benachbarter Photovoltaikeinrichtungen 42 elektrisch miteinander verbunden. Fig. 6 und 7 zeigen eine mögliche Bauweise in der Anordnung nachgeordneter Leiter. Diese sind in Reihe geschaltet.

Zur Aufnahme mehrerer Photovoltaikelemente 44 weist die Photovoltaikeinrichtung 42 Aufnahmeelemente 54 mit Ausnehmungen 56 auf (Fig. 9). In die Ausnehmungen 56 der Aufnahmeelemente 54 werden die Photovoltaikelemente 44 eingelegt. Hierbei kann das Aufnahmeelement 54 als Verstärker wirken, indem es zumindest teilweise elektrisch leitfähig ausgestaltet ist und sowohl mit der dritten Schicht 32 als auch mit der vierten Schicht in Kontakt steht. Der Kontakt mit entgegengesetztnamigen Leitern ist vorzugsweise zu vermeiden. Das Aufnahmeelement 44 weist unterhalb der untersten Schicht 34 in bevorzugter Bauweise eine Öffnung 57 auf, wodurch Material eingespart ist. Ggf. kann die Öffnung 57 auch vollständig, beispielsweise mit AlP verschlossen sein. Die Schichten 28, 30, 32, 34 sind insbesondere als Dickschichtsystem ausgeführt mit einer Gesamtdicke von ca. 3 mm bis 18 mm, so dass die Bruchgefahr des Photovoltaikelementes 44 reduziert ist.

Zur Herstellung der Photonenabsorber 10 wird zunächst eine Silizium-Scheibe 58 aus monokristallinem anisotropem Silizium hergestellt (Fig. 10), aus der die

Photonenabsorber 10 ausgesägt werden. Vorzugsweise weisen die auszusägenden Photonenabsorber 10 einen Abstand zu einem Rand 60 der Silizium-Scheibe 58 auf, um evtl. auftretende Gefügedefekte im Atomgitter im Randbereich der Silizium-Scheibe 58 zu vermeiden. Der nach dem Aussägen der Photonenabsorber 10 verbleibende Rest der Silizium-Scheibe 58 kann anschließend eingeschmolzen und wieder verwendet werden, so dass ein vollständiges Recyceln des Silizium-Scheiben-Materials möglich ist.

**Patentansprüche**

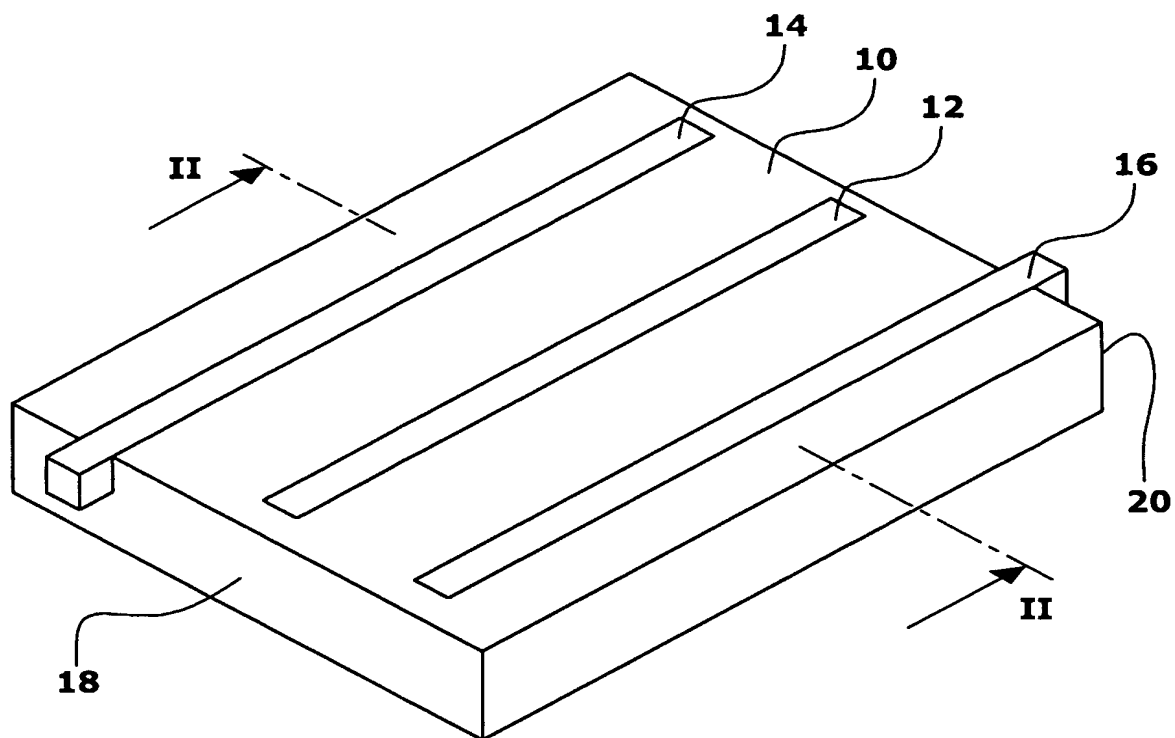
1. Photovoltaikelement mit  
  
einem Photonenabsorber (10) und  
  
einem zumindest teilweise in dem Photonenabsorber (10) eingelassenen, elektrisch leitfähigen, großflächigen Wirkelement (12),  
  
wobei das Wirkelement (12) von dem Photonenabsorber (10) über eine Phasengrenze getrennt ist und das Wirkelement (12) eine höhere Elektronenbeweglichkeit als der Photonenabsorber (10) aufweist.
2. Photovoltaikelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Wirkelement (12) im Wesentlichen elektrisch isoliert ist.
3. Photovoltaikelement nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass in dem Photonenabsorber (10) zumindest teilweise mindestens ein Leiter (14, 16) eingelassen ist, der insbesondere die gleiche Zusammensetzung wie das Wirkelement (12) aufweist.
4. Photovoltaikelement nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Wirkelement (12) und die Leiter (14, 16) länglich ausgeführt und im Wesentlichen parallel zueinander angeordnet sind.
5. Photovoltaikelement nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Leiter als Plus-Leiter (14) und Minus-Leiter (16) ausgestaltet sind, wobei der Plus-Leiter (14) an einer ersten Stirnseite (18) des Photonenabsorbers (10) und der Minus-Leiter (16) an einer zweiten Stirnseite (20) des Photonenabsorbers (10) endet oder übersteht.

6. Photovoltaikelement nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass bei mehrschichtiger Bauweise mindestens zwei über eine Anlagefläche (36) in Kontakt stehende Photonenabsorber (28, 30, 32, 34) vorgesehen sind, in welche die Plus-Leiter (14) und die Minus-Leiter (16) derart angeordnet sind, dass die Plus-Leiter (14) und die Minus-Leiter (16) über die Anlagefläche (36) voneinander abgegrenzt sind.
7. Photovoltaikelement nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Plus-Leiter (14) über einen ersten Sammel-Leiter (27) und mehrere Minus-Leiter (16) über einen zweiten Sammel-Leiter (26) miteinander verbunden sind.
8. Photovoltaikelement nach einem der Ansprüche 1 - 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Photonenabsorber (10) im Wesentlichen aus Silizium, insbesondere aus anisotrop-monokristallinem Silizium besteht.
9. Photovoltaikelement nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass jeweils zwei Photonenabsorber (28, 32; 30, 34) eine zueinander antiparallele Kristallstruktur aufweisen.
10. Photovoltaikelement nach einem der Ansprüche 1 - 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Wirkelement (12) zu einem Großteil, insbesondere vollständig, aus einem Metall besteht.
11. Photovoltaikelement nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Metall des Wirkelements (12) aus der 3. - 6. Hauptgruppe stammt oder ein Nebengruppenmetall aus der 1. - 8. Nebengruppe ist, dessen Elektronenkonfiguration vorzugsweise eine mit mindestens zehn Elektronen besetzte d-Schale aufweist.

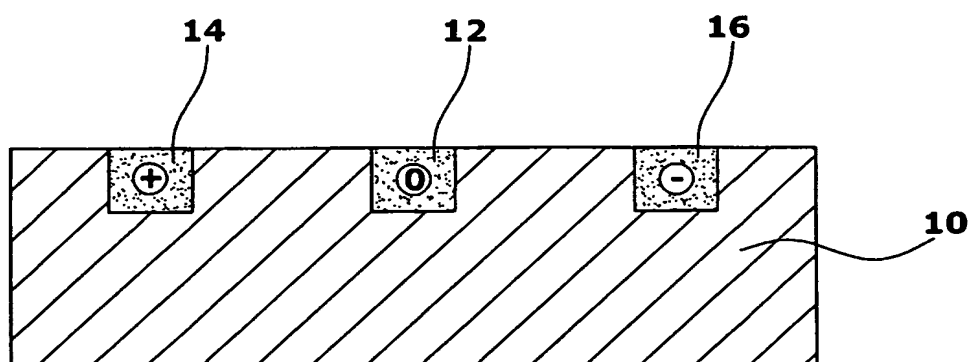


12. Photovoltaikelement nach einem der Ansprüche 1 - 11, dadurch gekennzeichnet, dass das Wirkelement (12) eine elektrische Leitfähigkeit von mehr als  $1,4 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ , bevorzugt mehr als  $1,6 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$  und besonders bevorzugt mehr als  $2,0 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$  aufweist.
13. Photovoltaikeinrichtung mit einem Aufnahmeelement (54), das Ausnehmungen (56) aufweist, in denen mindestens ein Photovoltaikelement (44) nach einem der Ansprüche 1 - 12 angeordnet ist, wobei im Photovoltaikelement (44) vorhandene Leiter (14, 16) mit Sammel-Leitern (26, 27) jeweils verbunden sind.
14. Photovoltaikeinrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass in mindestens einer Ausnehmung (56) mehrere Photovoltaikelemente (44) angeordnet sind, wobei die Ausnehmung (56) in Kontakt mit mindestens einem Photonenabsorber (10) des Photovoltaikelements (44) steht.
15. Photovoltaikeinrichtung nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere erste Verbindungsleiter (46) und mehrere zweite Verbindungsleiter (48) jeweils mit ersten Strom-Leitern (50) bzw. zweiten Strom-Leitern (52) verbunden sind.
16. Photovoltaikeinrichtung nach einem der Ansprüche 13 - 15, gekennzeichnet durch Verbindungsmittel zum mechanischen und elektrischen Verbinden von mindestens zwei nebeneinander angeordneten Photovoltaikeinrichtungen (42).

- 1/6 -

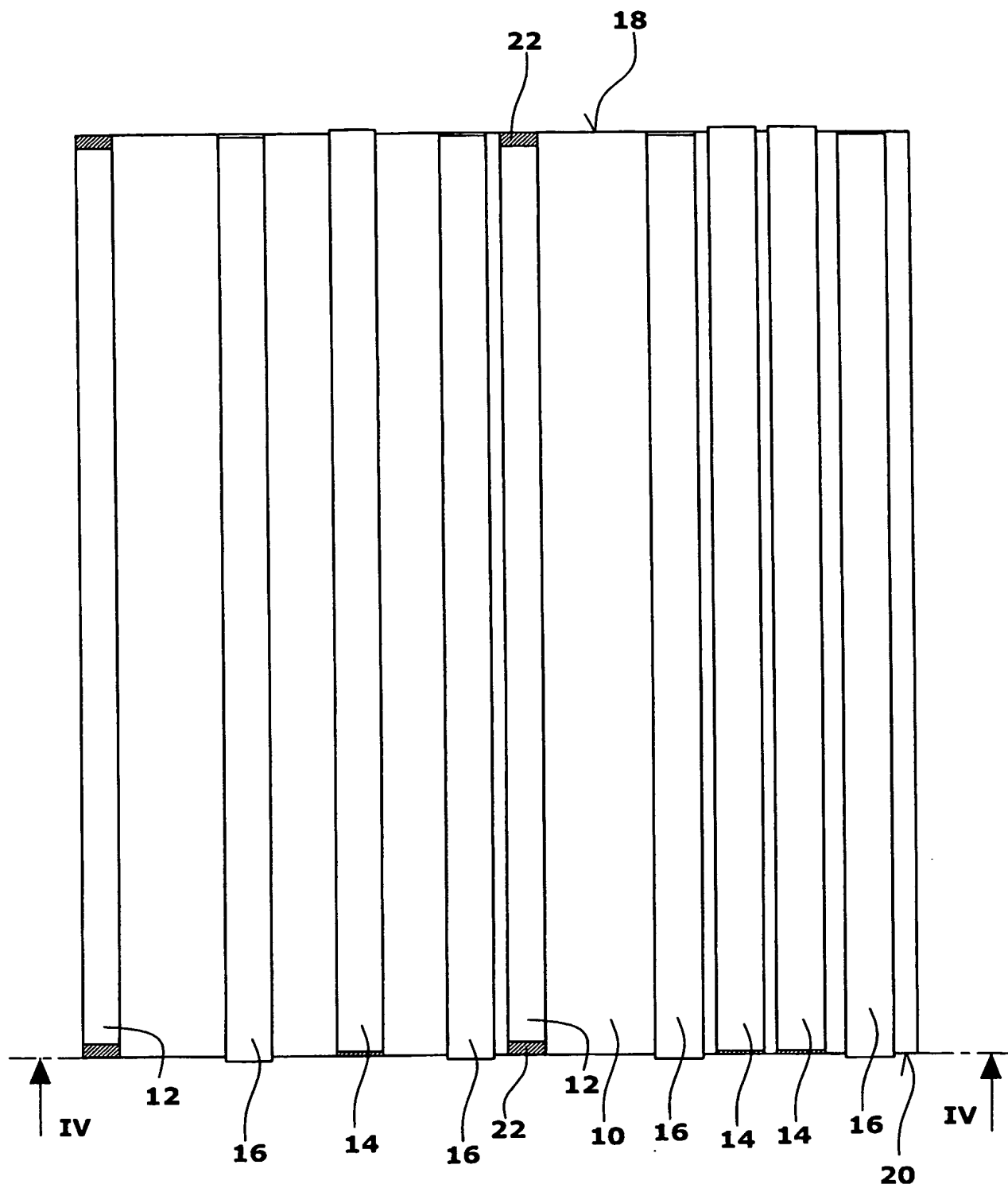


**Fig.1**



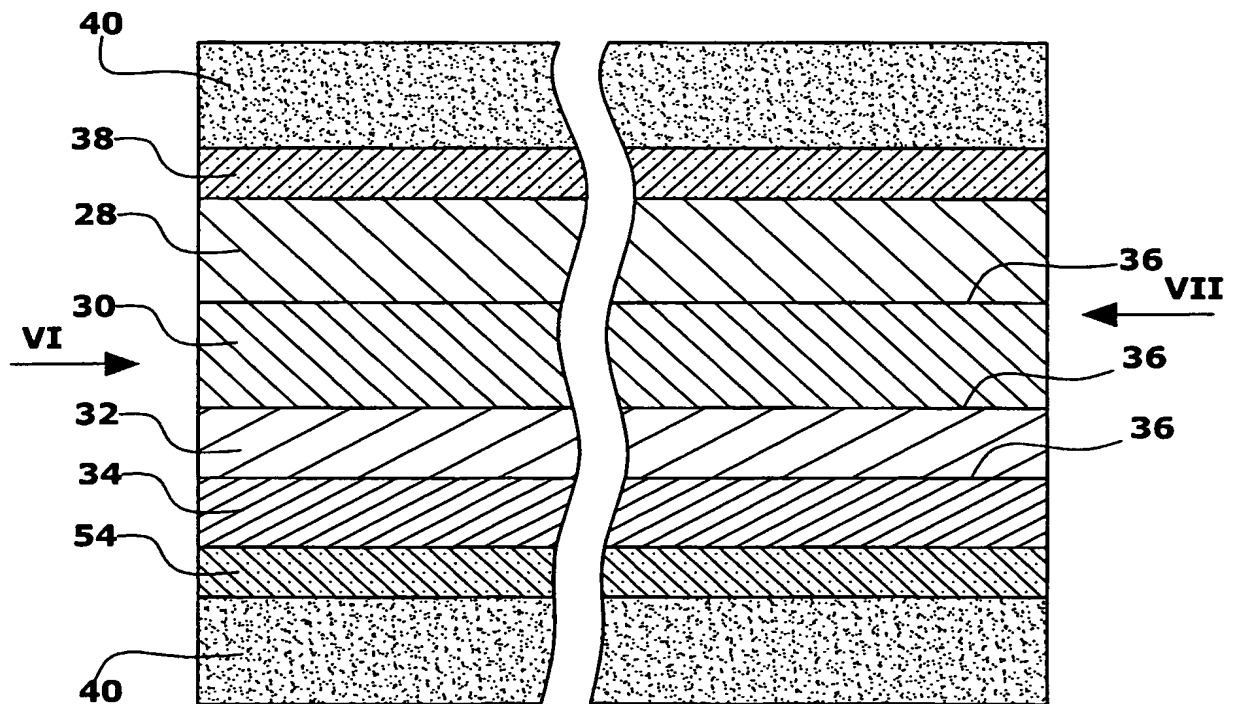
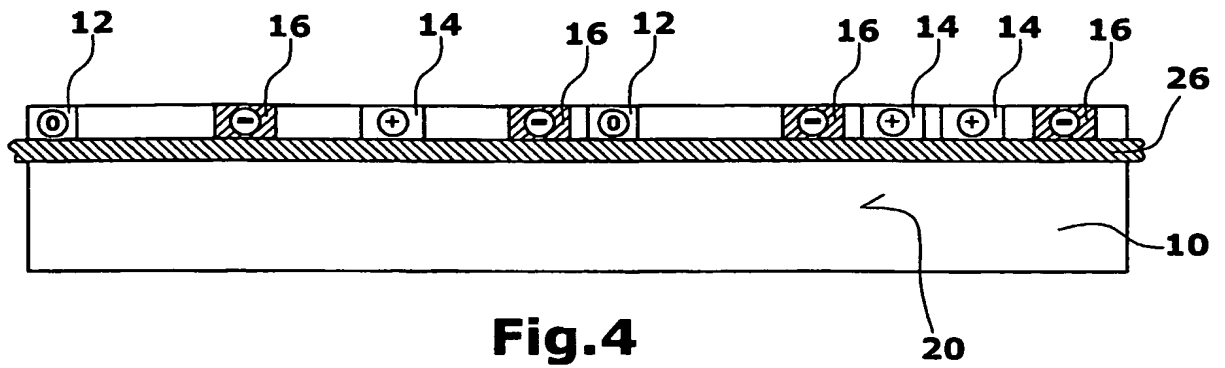
**Fig.2**

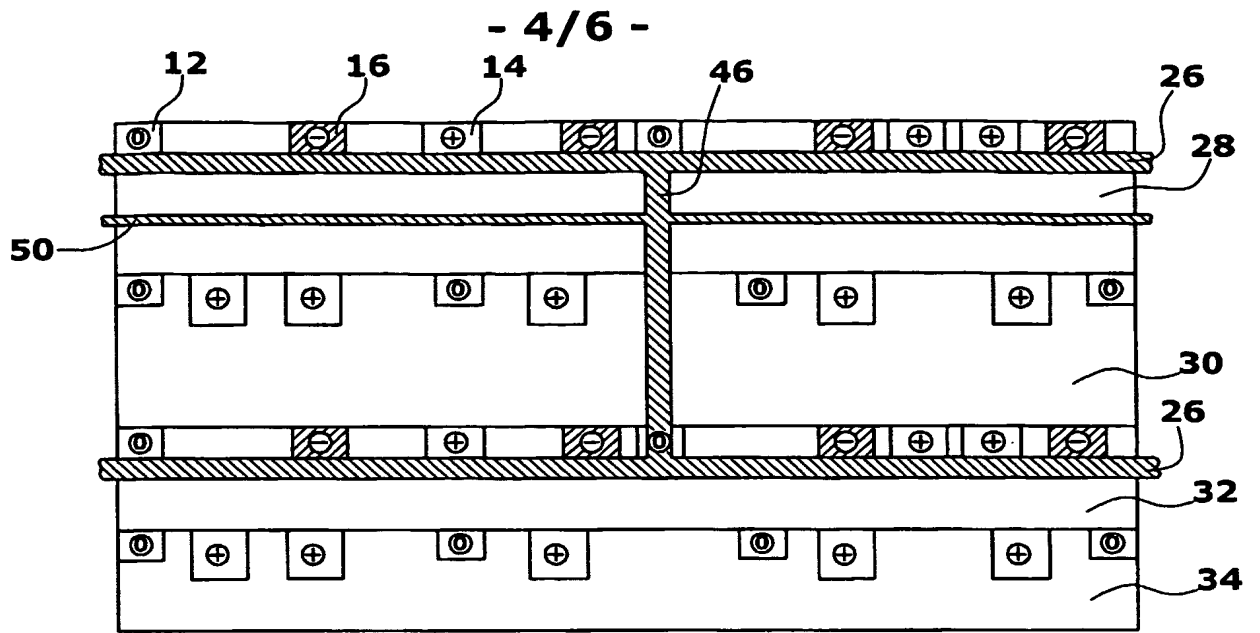
- 2/6 -



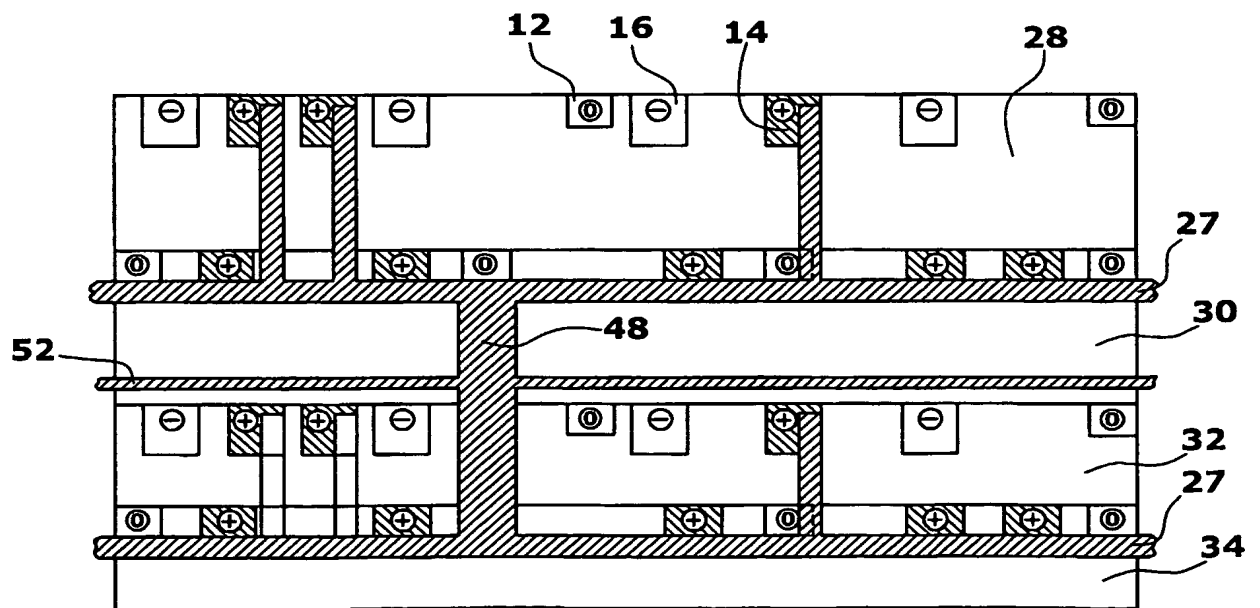
**Fig.3**

- 3/6 -



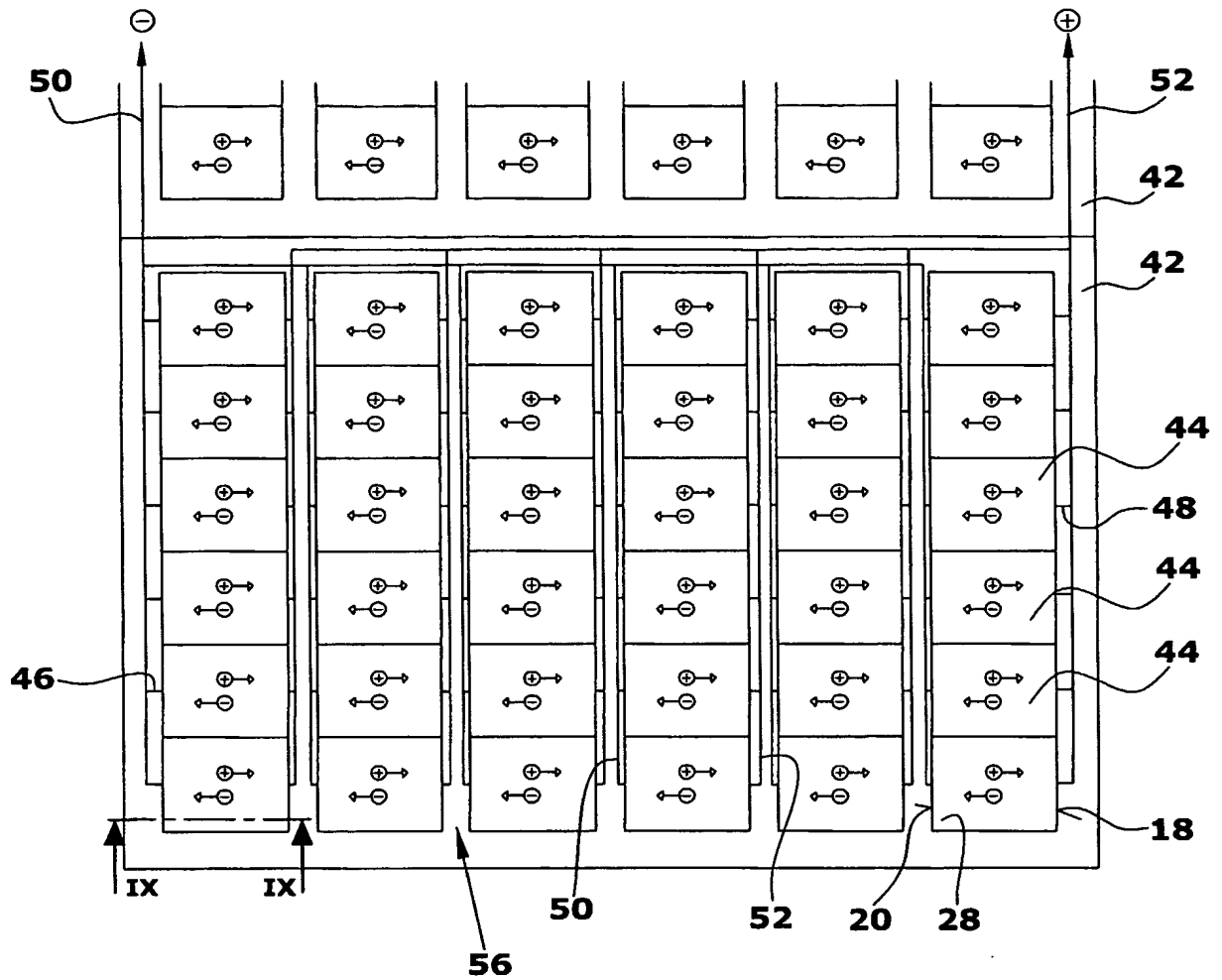


**Fig.6**

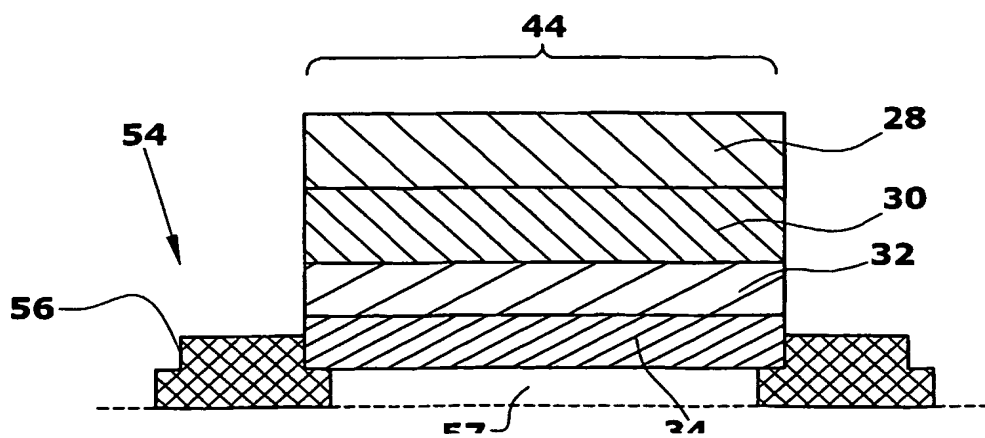


**Fig.7**

- 5/6 -

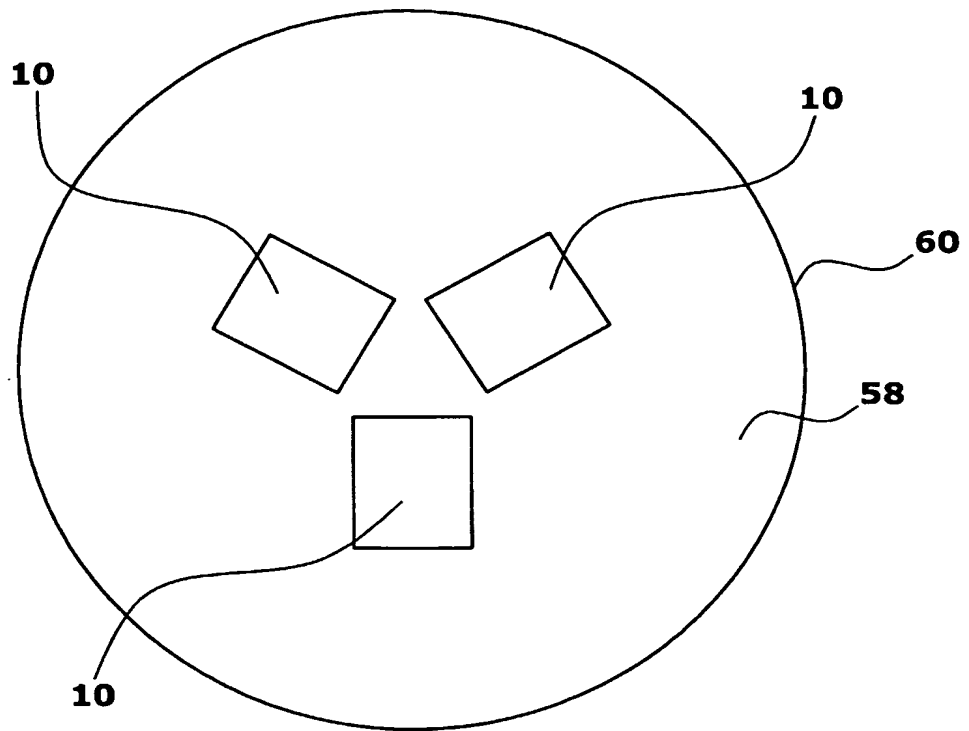


**Fig.8**



**Fig.9**

- 6/6 -



**Fig.10**